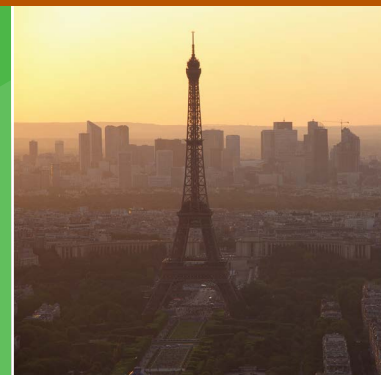


Megalópolis — Perfeccionamiento de modelos para el entorno del cliente

por Sergej Zilitinkevich¹, Markku Kulmala², Igor Esau³ y
la Secretaría de la OMM⁴



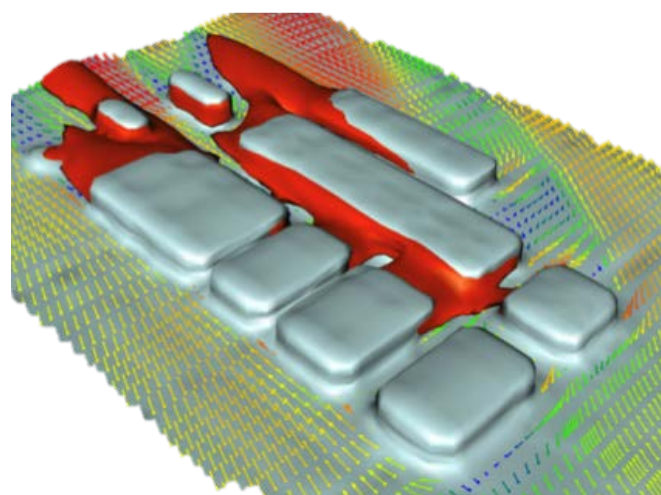
Caroline y Louis Volant

El rápido crecimiento urbanístico, el deterioro medioambiental y el cambio climático están haciendo que las personas, las organizaciones y el mundo empresarial sean más vulnerables a los riesgos meteorológicos y ambientales. La vida moderna demanda un conocimiento detallado de nuestro entorno personal inmediato —el clima y el tiempo así como la calidad del aire, del agua y del suelo— en el trabajo, en el hogar o en lugares de recreo, ya sea en interiores o al aire libre.

La OMM reconoce la existencia de “una demanda creciente de productos y servicios, investigación y vigilancia con respecto al tiempo, el clima y el agua, por parte de un número cada vez mayor de personas, instituciones y gobiernos para afrontar los retos planteados por un clima cambiante” y para informar de cara al desarrollo de políticas y la toma de decisiones. Tanto los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) como los proveedores de servicios meteorológicos y climáticos de valor añadido del sector privado, deben responder a estas demandas crecientes de información cada vez más detallada. El Marco Mundial para los Servicios Climáticos tiene como objetivo proporcionar un mecanismo a nivel mundial para coordinar las acciones dirigidas a mejorar la calidad, la cantidad y la aplicación de los servicios climáticos.

Sin embargo, es necesaria una plataforma interdisciplinaria e intersectorial para promover nuevos avances en las ciencias de la atmósfera, para unir las observaciones meteorológicas y de calidad del aire de los sectores público y privado, y para desarrollar estándares para las empresas de tecnología de la información

y de telecomunicaciones, todo ello en aras de mejorar la gestión medioambiental. Dicha plataforma debería centrarse en los fenómenos meteorológicos extremos y peligrosos, en las características de alta resolución de la contaminación atmosférica y en las manifestaciones locales del cambio climático.



La calidad del aire puede diferir drásticamente entre calles vecinas: las de tipo cañón urbano en Copenhague demuestran la heterogeneidad de la contaminación atmosférica. (Cortesía de R. Nuterman y otros, proyecto MACC de la Unión Europea, 2009-2011).

Perfeccionamiento de los modelos

Desde el punto de vista científico, la capa límite planetaria (PBL) atmosférica turbulenta inferior, directamente afectada por la interacción con las superficies de tierra y agua subyacentes, constituye nuestro entorno más próximo. Las características locales de la PBL vienen determinadas en gran medida por las propiedades del suelo, la vegetación, los edificios y las aguas superficiales que quedan por debajo de aquella, dando al tiempo y al clima de la PBL sus propias características físicas, químicas y electromagnéticas. En consecuencia, la PBL de zonas urbanas, costeras, montañosas, boscosas y de otros terrenos complejos, es muy heterogénea incluso a escalas de unos pocos cientos de metros o menos. Por

¹ División de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad de Helsinki; Instituto Meteorológico de Finlandia; Universidad de Nizhny Novgorod; Universidad Estatal de Moscú; Instituto de Geografía de la Academia Rusa de Ciencias.

² División de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad de Helsinki.

³ Centro Nansen de Teledetección y Medio Ambiente / Centro Bjerknes para la Investigación del Clima, Bergen (Noruega).

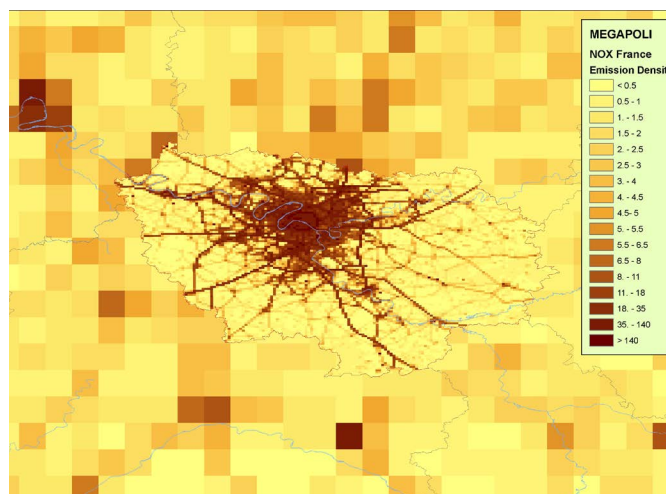
⁴ Alexander Baklanov, Departamento de investigación, Subdivisión de investigación atmosférica y del medio ambiente (OMM).



La capa límite superficial en Bergen queda visualizada por la bruma marina, invierno de 2012.

ejemplo, en las ciudades, la calidad del aire puede diferir drásticamente entre calles vecinas.

La resolución horizontal de la cuadrícula que actualmente puede alcanzarse en los servicios operativos climáticos y de predicción meteorológica se limita a unos pocos kilómetros; por lo tanto, las interacciones entre la PBL y la superficie terrestre se caracterizan por una rejilla promediada y fuertemente suavizada de flujos turbulentos verticales de energía, cantidad de movimiento y materia, como se muestra en el gráfico de París (figura inferior). Además, la resolución de la estructura vertical de la atmósfera no es todavía suficientemente fina para detectar el límite superior de la PBL, especialmente en el caso de una PBL superficial con estratificación estable, como se muestra en la imagen de Bergen (arriba).



París — A escala 1 x 1 km (centro), el inventario de emisiones de NO_x muestra las principales arterias de transporte de la ciudad; los cuadros a su alrededor ponen de relieve las emisiones regionales a una escala de 7 x 7 km. (Cortesía de H. A. C. Denier van der Gon, proyecto MEGAPOLI de la Unión Europea, 2009-2011)

Esto supone un inconveniente grave, tanto como que las características más sutiles de nuestro entorno inmediato originadas por las emisiones y/o heterogeneidades del paisaje local continúen sin resolverse. La contaminación atmosférica urbana —resultante de la interacción entre las emisiones, el transporte de larga distancia, la mezcla y el vertido de carácter local— es muy variable

y representa una amenaza para la vida ya que se estima que solamente el material particulado de la atmósfera mata a más de tres millones de personas al año en todo el mundo. La investigación muestra que la alta contaminación atmosférica en las megalópolis está relacionada con el impacto antropógeno y con el cambio climático⁵.

En el transcurso del tiempo, la resolución espacial de los modelos atmosféricos operativos se ha perfeccionado progresivamente gracias al avance en la red de observación global y en la tecnología computacional. Pero en los últimos años, este progreso constante se ha enfrentado a un obstáculo: la representación tradicional de las PBL y de la turbulencia en los modelos se ha revelado incompatible con resoluciones más finas que el espesor de la PBL. El punto crítico es que la teoría convencional subyacente de turbulencia no tiene en cuenta los movimientos autoorganizados esenciales típicos de las PBL convectivas homogéneamente mezcladas.

Por este motivo, en lugar de un avance anticipado, las resoluciones inferiores al kilómetro muy a menudo provocan un peor funcionamiento del modelo al desencadenar movimientos artificiales a gran escala que se asemejan a los verdaderos movimientos autoorganizados típicos de las PBL homogéneamente mezcladas, pero mucho más profundos y amplios. Este artificio (inherente a la denominada “zona gris” de reducción de escala de resolución del modelo) se debe muy probablemente a la escasa representación de las turbulencias estratificadas supercríticas en la atmósfera libre y a la confusión entre la atmósfera libre y la PBL. La cuestión es que la turbulencia estratificada supercrítica difiere de la turbulencia habitual de la PBL en que esta reduce drásticamente la transferencia de calor en comparación con la transferencia de cantidad de movimiento⁶. Este fenómeno recientemente descubierto

⁵ Arneth, A., N. Unger, M. Kulmala y M. O. Andreae, 2009: Clean the air, heat the planet? *Science*, 326, 672-673. Kulmala, M. y otros, 2011: General overview: European Integrated project on Aerosol Cloud Climate and Air Quality Interactions (EUCAARI) — integrating aerosol research from nano to global scales. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 13061-13143.

⁶ Zilitinkevich, S. S., J. C. R. Hunt, A. A. Grachev, I. N. Esau, D. P. Lalas, E. Akylas, M. Tombrou, C. W. Fairall, H. J. S. Fernando, A. Baklanov y S. M. Joffe, 2006: The influence of large convective eddies on the surface layer turbulence. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 132, 1423-1456. Zilitinkevich,

es precisamente la razón por la que las variaciones diurnas de temperatura se limitan a la PBL, por la que los contaminantes emitidos desde fuentes terrestres pueden mantenerse durante varios días dentro de la PBL, y por la que las estructuras autoorganizadas no se extienden más allá de la PBL. La representación de la turbulencia atmosférica, los aerosoles, los procesos químicos y las características básicas de las PBL, junto con un refinamiento de la resolución horizontal, tienen que ser actualizadas urgentemente en una nueva generación de modelos meteorológicos y climáticos.

Pero este no es el único problema. El principal reto es acelerar el desarrollo de la vigilancia de muy alta resolución y las predicciones de los aspectos físicos y químicos del tiempo y el clima, más allá de un planteamiento básico, de arriba hacia abajo (descendente) e, inevitablemente, de lento progreso. El perfeccionamiento de la naturaleza y la representación de nuestro entorno personal podrían obtenerse, en particular, a través de la integración de las observaciones locales de alta resolución con simulaciones capaces de resolver la turbulencia como las que ahora se ejecutan para los municipios, como por ejemplo, en Bergen (Noruega).

Un enfoque ascendente

La OMM⁷ ha definido el desarrollo de “los servicios meteorológicos, medioambientales y climáticos urbanos integrados” como una de sus prioridades. Un concepto basado en la integración de los flujos de información entre los servicios meteorológicos (con una resolución inevitablemente limitada que viene marcada por la red de observaciones regulares) y las observaciones de personal privado con una resolución requerida para un lugar específico, podría permitir la vigilancia y la predicción de su entorno urbano inmediato. De esta manera, las predicciones habituales de baja resolución pueden ser corregidas para una localización específica, teniendo en cuenta la totalidad de los datos de observaciones de carácter particular facilitados por los usuarios correspondientes.

Una aplicación práctica de este enfoque ascendente radica en la planificación de nuevos desarrollos urbanos, como el Estudio de la convección en el área metropolitana de Tokio para ciudades resilientes a condiciones meteorológicas extremas (TOMACS)⁸; el Sistema de alerta temprana multirriesgo para la EXPO 2010 de Shanghai⁹; o la Gran Moscú¹⁰. Una planificación confiable debería tener en cuenta todas las informaciones esenciales recibidas del clima de las megalópolis, desde la escala de la megaciudad a la escala del entorno personal.

S. S., T. Elperin, N. Kleerorin, I. Rogachevskii e I. N. Esau, 2013: A hierarchy of energy- and flux-budget (EFB) turbulence closure models for stably stratified geophysical flows. *Boundary-Layer Meteorol.*, 146, 341-373.

⁷ Grimmond, S., T. Xu y A. Baklanov, 2014: Hacia unos servicios meteorológicos, medioambientales y climáticos urbanos integrados. *Boletín de la OMM* 63 (1), 10-14.

⁸ www.mpsep.jp/e/

⁹ <http://mce2.org/wmogurme/projects/shanghai-expo-2010-mhews>

¹⁰ www.moscowbig.ru/index/0-2

Existen sólidos argumentos para creer que en el futuro próximo la vigilancia meteorológica ejecutada por los servicios meteorológicos centralizados será complementada cada vez más por la vigilancia de abajo hacia arriba realizada por individuos particulares, empresas sensibles a las condiciones meteorológicas (como el transporte, la horticultura o la agricultura de precisión, el sector energético, etc.), organizaciones de voluntariado (por ejemplo, escuelas, hospitales o comunidades de vecinos de apartamentos) y organismos medioambientales, especialmente en las megalópolis.

Este escenario prospectivo, combinado con las modernas tecnologías de la información, de la modelización y de la observación, es exigente, pero traerá oportunidades para:

- mejorar la ciencia y la educación medioambientales;
- el desarrollo industrial y la comercialización de instrumentos para las observaciones privadas del tiempo y de la calidad del aire y del agua;
- los servicios ambientales particulares que tengan en cuenta el tiempo y el clima, en sus aspectos tanto físico como químico, y orientados al confort humano y a los problemas de salud; y
- una óptima gestión del entorno urbano.

Las megalópolis fuertemente contaminadas están preparadas para establecer una extensa vigilancia medioambiental privada; de ahí que exista un rápido crecimiento del mercado de instrumentos para la medición de un amplio espectro de parámetros. Un ejemplo, la asociación de los riesgos que amenazan la vida con la contaminación atmosférica ha aumentado las ventas de instrumentos que miden la calidad del aire tanto exterior como interior. La vigilancia de abajo hacia arriba se encuentra ya en el camino adecuado, pero es necesaria una armonización entre las ciencias atmosféricas y otras ciencias ambientales con el fin de avanzar en los estándares para los fabricantes de instrumentos de observación y para modernizar los métodos de los gestores medioambientales. Los SMHN y la OMM están tomando la iniciativa en la coordinación de estos procesos. Ha llegado el momento de iniciar un diálogo entre la comunidad científica medioambiental y las empresas proveedoras de instrumentos y servicios de observación del medio ambiente con el objetivo de hacer posible la realización de observaciones por parte de los clientes privados, de forma compatible y complementaria a la vigilancia regular que llevan a cabo los servicios meteorológicos.

El Experimento pan-euroasiático¹¹ puesto en marcha recientemente, con la participación de la Unión Europea, Federación de Rusia y China¹², puede sentar las bases de la plataforma interdisciplinaria e intersectorial que se necesita para avanzar en este ámbito.

¹¹ www.atm.helsinki.fi/peex/

¹² Lappalainen, H. y otros, 2014: Pan-Eurasian Experiment (PEEX) — A research initiative meeting the grand challenges of the changing environment of the northern Pan-Eurasian Arctic-boreal areas, 2014. *Geography, Environment and Sustainability*, 7 (2), 13-48.